

研究報文

若年成人女性における安静時代謝量及び 食事誘発性体熱産生と体組成との関連

山川 佳那子*, 米浪 直子*

Relationship between resting metabolic rate, diet-induced thermogenesis,
and body composition in young adult women

Kanako Yamakawa, Naoko Komenami

Summary

We investigated whether body weight and body composition are related resting metabolic rate or diet-induced thermogenesis in young adult women 19–23 years old. We found that resting metabolic rate was significantly correlated with body weight, lean body mass, total muscle mass, and muscle mass of the trunk, right and left arms, and right leg, but diet-induced thermogenesis was not. These results suggest it may be possible to increase resting metabolic rate by increasing whole-body muscle mass in young adult women. However, other factors related to diet-induced thermogenesis must be further investigated.

(Received 25 September, 2020, Accepted 10 December)

I. 緒言

一日の総エネルギー消費量は約 60% を基礎代謝量が占め、食事誘発性体熱産生 (Diet-induced Thermogenesis: DIT) が約 10%, 残りは活動時代謝量により構成される。基礎代謝量を測定するためには、12 時間以上の絶食とし早朝空腹時に仰臥位にて測定しなければならないなど条件が厳しいため、基礎代謝量よりも安静時代謝量 (Resting Metabolic Rate: RMR) が広く用いられている。基礎代謝量や安静時代謝量は肝臓、脳、心臓、腎臓などの内臓や骨格筋量によりほぼ決定され¹⁾、多くの先行研究において筋肉量や除脂肪量に影響されることが明らかになっている²⁾。そのため、筋肉量が増加に伴い減少すると、結果として基礎代謝量や安静時代謝量の減少につながる。代謝量が低くなると、低体温が生じたり若年者でも不定愁訴を含む疲労感などがみられる。そのため、体温調節や自律神経の調節の観点から、

筋肉量の維持・増加により基礎代謝量を維持することは重要になると考えられる。

一方、DIT は食後 5～6 時間³⁾ にわたり増大する熱産生のことで、食物の消化・吸収における代謝亢進により消費するエネルギーである。以前、DIT は栄養素の消化吸収に伴う熱産生の亢進という意味で特異動的作用 (Specific Dynamic Action: SDA) と呼ばれてきた。しかし、近年では消化吸収だけでなく、咀嚼など食事摂取や消化管の活動、消化吸収後の栄養素の代謝や輸送に伴う全ての代謝亢進を含めて DIT と呼ばれるようになった。DIT についても体温維持や自律神経の調節に関与していることが知られている。DIT は食事のエネルギー量や組成に影響され⁴⁾、一般的な混合食では食事エネルギー量の約 10% にのぼるといわれている⁵⁾。また、DIT には個人差があり、インスリン抵抗性、身体活動量、年齢、寒冷刺激によって影響されることが明らかにされている⁶⁾。肥満者では痩せの者と比較した時に DIT が低くなると報告されている⁶⁾。しかしながら、Buchholz ら⁷⁾ の研究では、脊髄損傷のある者において、健常者より

*京都女子大学大学院 家政学研究科 食物栄養学専攻

も特に下肢の除脂肪量が少ないため安静時代謝量は低かったが、DITは健常者と差異が無かったと報告しており、DITと体組成や体格との関連は解明されていない。

そこで、本研究では若年成人女性を対象としてDITと体組成との関連について検討を行った。加えて、体幹部と四肢の各部位における筋肉量を測定し、DITおよび安静時代謝量との関連について検討した。

II. 方 法

1. 被験者

事前に実験の目的、条件及び測定内容を説明し、実験参加の承諾が得られた健常な若年成人女性（19～23歳）35名を対象とした。さらに、実験当日においても被験者に身体状況、健康状態及び服薬していないことを確認するとともに、実験内容を説明し、実験参加に同意することを、書面により確認した。本研究の研究内容及び倫理面への配慮については、京都女子大学臨床研究倫理審査委員会（28-7）の承認を得た。

2. 食事条件

試験食のエネルギー量は、食事摂取基準を参照し、18～29歳女性の身体活動レベル「ふつう」の推定エネルギー必要量の1/3とした⁹⁾。食事内容は、サンドイッチ（ロールパン60g・いちごジャム28g）、オムレツ（卵80g・じゃがいも50g・玉ねぎ30g・ハム19g・サラダ油2g・ケチャップ20g・レタス10g）、ヨーグルト112g、オレンジジュース200gとした。食事組成は、エネルギー654kcal、たんぱく質26.3g、脂質18.5g、炭水化物97.2g、たんぱく質エネルギー比：脂質エネルギー比：炭水化物エネルギー比＝16：26：58に設定した。なお、食事の温度による影響を避けるため、食事は常温で提供した。

3. 実験手順

1) 実験前日及び当日の条件

性周期による影響を避けるため、実験は月経開始から14日以内の低温期に行った。測定結果への影響を考慮し、被験者に対して実験前日の禁酒禁煙、実験前日の21時以降は水と麦茶以外の絶飲食及び0時までには就寝するように依頼し、実験当日も水と麦茶のみ摂取可とした。午前9時までに登校させ、服装は半袖Tシャツとハーフパンツとし、身体測定を実施した後、環境温度 $25 \pm 1^{\circ}\text{C}$ に保った実験室へ入室させ、30分以上座位安静状態を保持させた。エ

ネルギー消費量のベースラインデータ（食前の安静時代謝量）を10分間採取後、同一環境条件で午前11時に食事を提供した。食事は15分間で摂食完了とし、食事終了時を0分として食後360分まで座位安静を保持させ、40分毎に10分間のデータを採取した。実験中は眠気を防止するために読書、DVD鑑賞を許可した。

2) 測定項目

身体組成は、インピーダンス体組成計（MC-780A, TANITA）を使用し、体重、体脂肪率、除脂肪量、筋肉量、体幹部及び四肢における体脂肪率と筋肉量を測定した。除脂肪量とは、体重から体脂肪量を差し引いた値である。

エネルギー消費量は、エアロモニタ（AE-300S, ミナト医科学株式会社）を用いて、呼気ガスから酸素濃度（ O_2 ）と二酸化炭素濃度（ CO_2 ）を測定し、酸素摂取量及び二酸化炭素排泄量を求めた。これら O_2 及び CO_2 濃度に基づき呼吸商（RQ）とエネルギー消費量（kcal/min）を算出した。エネルギー消費量はLuskの表を用いて計算した。

DITは、食前（安静時）の安静時代謝量をベースラインとし、食後のエネルギー消費量の増加分を曲線下面積（Areas Under the Curve: AUC）により求めた。

4. データ処理及び統計

全てのデータは平均値 \pm 標準偏差（SD）で示した。統計処理は統計ソフトIBM SPSS ver. 24.0を使用した。安静時代謝量及びDITと体組成について、正規性の検定を行い、正規性が見られた場合は、Pearsonの相関係数を求めた。検定の有意水準は5%未満とした。

III. 結 果

被験者の身体特性を表1に示した。BMIは $20.8 \pm 2.1 \text{ kg/m}^2$ であり、被験者全員が 25 kg/m^2 未満であり肥満者はいなかった。筋肉量は $35.8 \pm 3.1 \text{ kg}$ 、安静時代謝量は $0.79 \pm 0.11 \text{ kcal/min}$ であった。また、1日の安静時代謝量を算出すると $1138 \pm 158 \text{ kcal/日}$ であった。筋肉量については、体幹部 $18.6 \pm 1.8 \text{ kg}$ 、右腕 $1.6 \pm 0.2 \text{ kg}$ 、左腕 $1.6 \pm 0.2 \text{ kg}$ 、右脚 $7.1 \pm 0.6 \text{ kg}$ 、左脚 $7.1 \pm 0.6 \text{ kg}$ であった。全身の筋肉量に対する体幹部の筋肉量の割合は52%、上肢の割合は9%、下肢の割合は40%となった。DITは $52.9 \pm 15.8 \text{ kcal}$ となり、摂取エネルギーに対する割

表1 被験者の身体的特性

	平均	±	標準偏差
年齢（歳）	21	±	1
身長（cm）	158.1	±	5.8
体重（kg）	52.0	±	6.2
BMI（kg/m ² ）	20.8	±	2.1
安静時代謝量（kcal/日）	1138	±	158
体脂肪率（%）	26.4	±	4.5
除脂肪量（kg）	38.1	±	3.3
筋肉量（kg）	35.8	±	3.1
（部位別）			
体幹部（kg）	18.6	±	1.8
右腕（kg）	1.6	±	0.2
左腕（kg）	1.6	±	0.2
右脚（kg）	7.1	±	0.6
左脚（kg）	7.1	±	0.6

BMI: Body Mass Index

合に換算してみると8.1%となった。

安静時代謝量及びDITと体重、BMI、体脂肪率、除脂肪量、筋肉量との相関の結果については図1及び図2に、体幹部及び四肢の体脂肪率及び筋肉量との相関は図3及び図4に示した。これらすべての項

目において、正規性がみられた。安静時代謝量と体重（ $r=0.400$, $p=0.017$ ）、除脂肪量（ $r=0.354$, $p=0.037$ ）、筋肉量（ $r=0.358$, $p=0.035$ ）の間には有意な正の相関がみられた。また、安静時代謝量は体幹部（ $r=0.366$, $p=0.031$ ）、右腕（ $r=0.387$, $p=0.022$ ）、左腕（ $r=0.354$, $p=0.037$ ）、右脚（ $r=0.364$, $p=0.032$ ）の筋肉量との間にも有意な正の相関がみられた。安静時代謝量とBMI（ $r=0.321$, $p=0.060$ ）、左脚の筋肉量（ $r=0.322$, $p=0.059$ ）の相関は統計的に有意ではなかった。DITと各測定項目の間には、いずれにおいても相関はみられなかった。

IV. 考察

本研究では、若年成人女性において安静時代謝量及びDITと体組成の関連を検討した。その結果、安静時代謝量は体重や筋肉量、除脂肪量、体幹部・上肢および右脚の筋肉量との相関がみられた。しかし、DITは体重や体組成との相関は認められなかった。よって、安静時代謝量は特に全身の除脂肪量や筋肉量など体組成に影響されるが、DITは体重や体組成による影響は受けないことが示された。

本研究の被験者は、日常的に高い身体活動レベル

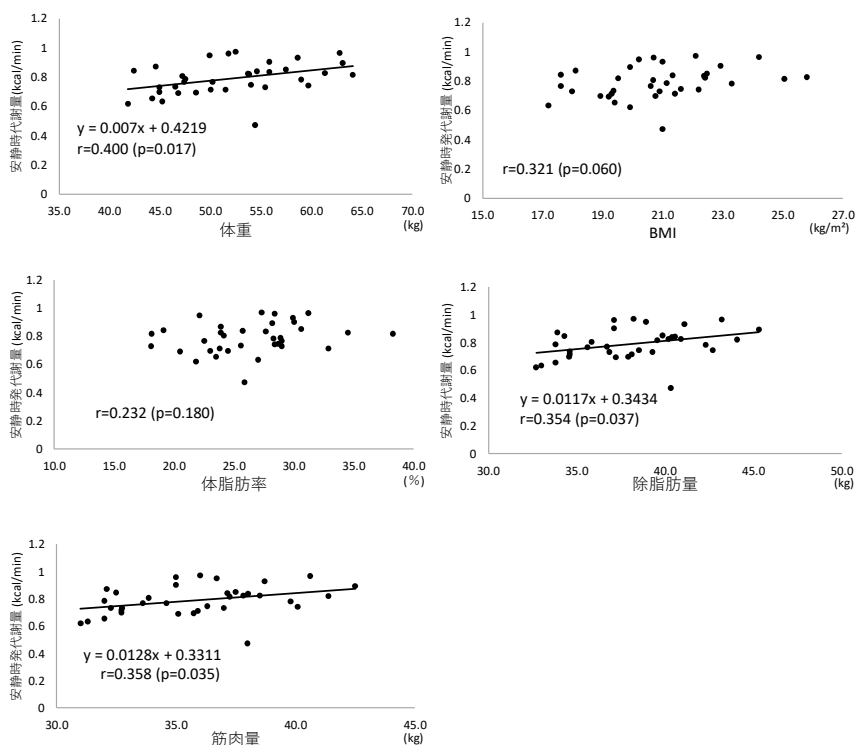


図1 安静時代謝量と体重、BMI、体脂肪率、除脂肪量、筋肉量との相関

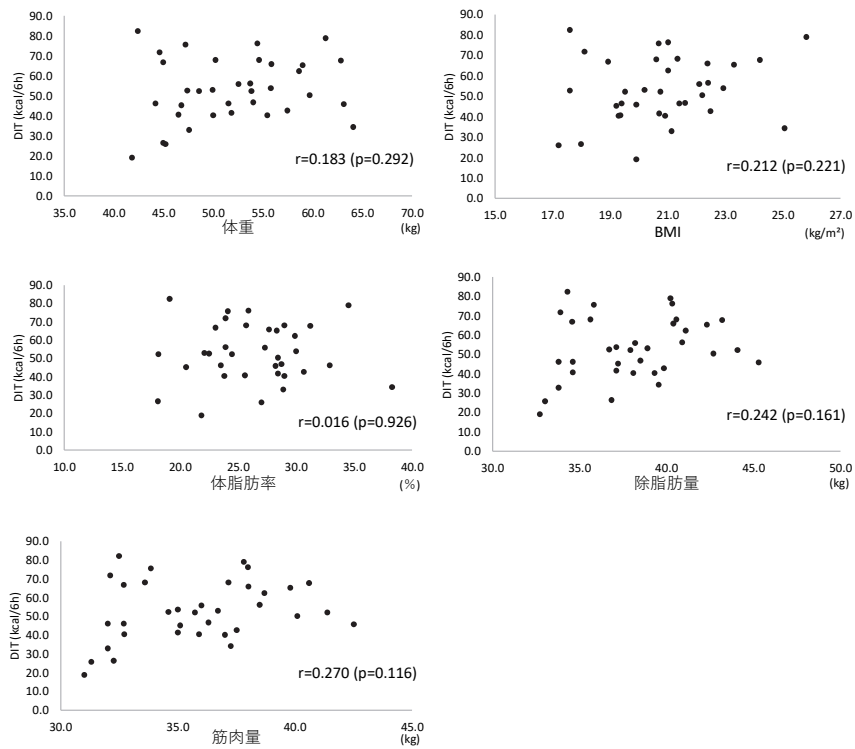


図2 DITと体重、BMI、体脂肪率、除脂肪量、筋肉量との相関

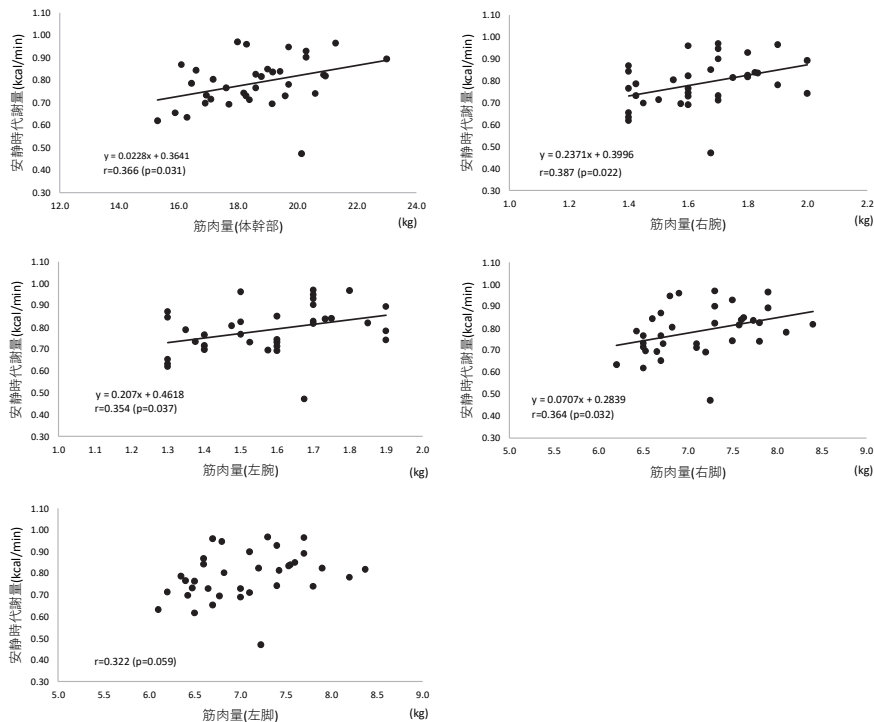


図3 安静時代謝量と部位別の筋肉量との相関

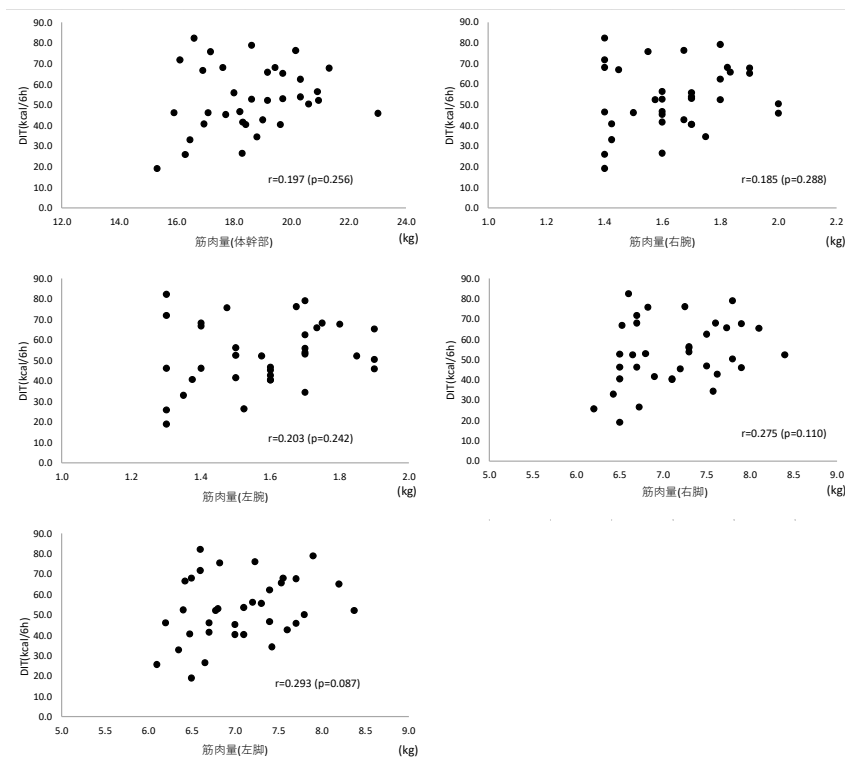


図4 DITと部位別の筋肉量との相関

の活動を行っていない一般的な若年成人女性とした。平成30年度の国民健康・栄養調査⁸⁾では20歳女性の身長157.0 cm及び体重50.7 kgと比較しても、身長、体重ともにほぼ同じ体格である。また、全身の筋肉量のうち、筋肉量の割合について、本研究における体幹部の筋肉量は52%、下肢筋肉量は40%であり、谷本らの18歳以上の男女4,000人を対象とした研究における、約50%を体幹部の筋肉量が占め、約40%は下肢筋肉量であるとの結果¹⁰⁾と一致した。そのため、本研究の被験者は一般的な若年成人女性の集団といえる。体格がほぼ同じである場合には心臓など内臓等の重量に大きな個人差があることは考えにくく、本研究の被験者の除脂肪量や筋肉量についても同年代の女性と同程度であると推察される。

日本人を対象にした研究において、基礎代謝量の個人差の約85%を除脂肪量、脂肪量、年齢、性別で説明できるという報告がある¹¹⁾。松本ら¹²⁾は、女子大学生では運動の有無や実施時間に関係なく、安静時代謝量は除脂肪体重の絶対量と相関することを示している。本研究の結果においても、安静時代謝量は体重や除脂肪量、筋肉量との相関がみられ、先行研究における知見と一致した^{12,13)}。

筋肉組織内に多く存在するミトコンドリア内には、電子伝達系やATP合成酵素が存在し、体内の熱産生の働きを担っている。筋肉内のミトコンドリアの密度がグルコースの取り込みに伴うエネルギー消費量の充進に関与しており、基礎代謝量と関連しているとされる¹⁴⁾。筋持久力トレーニングによりミトコンドリアの有酸素能が改善傾向となったとの報告¹⁵⁾があり、トレーニングにより筋肉量が増えればミトコンドリアを増加させることができ、安静時代謝量を高めることができると推察できる。

体脂肪率は除脂肪量や筋肉量とは異なり、安静時代謝量との間に相関は見られなかった。筋肉量はエネルギー消費量の20%以上に寄与している一方で、脂肪組織の寄与は4%にしか満たないといわれている¹⁶⁾。筋肉は体内でも多くのエネルギーを消費する組織であるが、脂肪組織は食事や運動不足などで体内において過剰になったエネルギーを貯蔵するための組織であるため、安静時代謝量とは有意な関連がなかったと考えられる。

近年、熱産生に関わる組織として注目を集めているのが、褐色脂肪細胞（Brown Adipose Tissue: BAT）である。白色脂肪細胞と褐色脂肪細胞は“脂肪細胞”

と呼ばれるが、その役割は大きく異なる。白色脂肪細胞は余ったエネルギーを脂肪として貯蔵することが主な役割であるが、BAT はミトコンドリアを多く含み、熱産生部位として低温時の体温維持や DIT の主要組織としての役割を果たしている。特に 2000 年代に入ってから、成人においても BAT が存在し、熱産生部位として働いていることが分かってきた¹⁷⁾。BAT による熱産生には季節変動が認められており、安静時代謝量を夏と冬と比較したところ、冬において著しく亢進することが明らかとなっている¹⁸⁾。このように、安静時代謝量には除脂肪量や筋肉量のような体組成だけでなく、他の要因も影響している。また、BAT による熱産生は多食や寒冷暴露による刺激で増大し、DIT 発生に関与しているといわれている。

DIT は食事摂取に伴い、咀嚼や食物の消化吸収により亢進する熱産生のことで、食後 5～6 時間継続し³⁾、Tappy ら¹⁹⁾ は健康な被験者を対象に 24 時間測定した場合に、混合食では食事エネルギー量の 10% 程度生じると報告している。DIT は食物の形態や美味しさ²⁰⁾、咀嚼、温度等に加え、トウガラシのような交感神経系などに作用する成分も含めた食事全体の熱産生作用を示している。本研究の DIT も 10% に近い値となり、同様な結果を得ることができた。なお、DIT は初期反応とそれ以降の反応に分けられる。食事摂取による刺激が交感神経系を活性化し、食後 40 分頃にピークを迎え²¹⁾、その後、消化管ホルモンなどの働きにより、食物の消化吸収によって熱産生亢進が維持される。交感神経系の働きをブロックしたイヌにおいて、食事摂取後の初期の熱産生が減少する²²⁾ ことから、食後 40 分頃までの初期反応は、食事摂取による咀嚼や食事の栄養成分などの刺激により交感神経系が活性化し、エネルギー代謝が亢進することで生じることがわかる。そのため、DIT では安静時代謝量とは異なり体組成による影響は見られなかったことが考えられる。

従来の研究において、エネルギー代謝の指標である安静時代謝量と体組成の関連についての報告は多いが、DIT についても同時に検討したものはほとんど見られない。本研究では、体組成について筋肉量を各部位に分けて、安静時代謝量及び DIT との関連を調べ、新しい結果を示した。安静時代謝量は全身の筋肉量と関連が見られたが、エネルギー代謝に関与する因子は、BAT のように数多く存在するため、寒冷暴露などの環境条件を変えて検討する必要がある。また、本研究では若年成人女性のみを対象にし

て検討を行ったため、今後は研究対象を男性や中高年者へと広げる必要がある。DIT については、体組成と関連が無かったため、食事内容や温度、摂取のタイミングなどの食事条件に加えて環境条件についても検討していくことは興味深く、今後エビデンスの蓄積により、新たに解明が期待される。

V. まとめ

本研究では若年成人女性を対象に、体重や体組成と安静時代謝量および食事誘発性体熱産生 (DIT) がどのように関連しているかを検討した。その結果、安静時代謝量は体重、除脂肪量、筋肉量、体幹部・上肢および右脚の筋肉量と有意な相関がみられたが、DIT については体格との関連は見られなかった。これらの結果から、若年成人女性では筋肉量を増やすことで安静時代謝量を増加させることができると考えられる。DIT については、他の要因について今後検討していく必要がある。

利益相反

開示すべき本研究に関連する開示すべき COI はない。

参考文献

- 1) 田岡芳知, 片桐秀樹: 肥満・糖尿病の病態を解明するエネルギー代謝の最前線, ミトコンドリア・脂肪細胞の機能理解から, 臓器間神経ネットワークによる代謝調節まで. *実験医学*, **27**, 1058-1062 (2009)
- 2) Luke A: Schoeller DA. Basal metabolic rate, fat-free mass, and body cell mass during energy restriction. *Metabolism*, **41**, 450-456 (1992)
- 3) 関野由香, 柏絵里子, 中村丁次: 食事時刻の変化が若年女子の食事誘発性体熱産生に及ぼす影響. *日本栄養・食糧学会誌*, **63**, 101-106 (2010)
- 4) Quatela A, Callister R, Patterson A, MacDonald-Wicks L: The Energy Content and Composition of Meals Consumed after an Overnight Fast and Their Effects on Diet Induced Thermogenesis: A systematic Review, Meta-Analyses and Meta-Regressions. *Nutrition*, **8**, 1-30 (2016)
- 5) Westerterp K R: Diet induced thermogenesis. *Nutrition & Metabolism*, **1**, 1-5 (2004)
- 6) De Jonge L, Bray G A. The Thermic Effect of Food and Obesity: A Critical Review. *Obesity Research*, **5**,

- 633–631 (1997)
- 7) Buchholz A C, Pencharz PB: Energy expenditure in chronic spinal cord injury. *Current Opinion in Clinical Nutrition & Metabolic Care*, **7**, 635–639 (2004)
 - 8) 厚生労働省：平成30年国民健康・栄養調査報告. <https://www.mhlw.go.jp/content/000615325.pdf> (2020/09/09 閲覧)
 - 9) 菱田明, 佐々木敏：日本人の食事摂取基準 (2015年版). 第一出版 (2014)
 - 10) 谷本芳美, 渡辺美鈴, 河野 令, 広田千賀, 高崎恭輔, 河野公一：日本人筋肉量の加齢による特徴. *日本老年医学会雑誌*, **47**, 52–57 (2010)
 - 11) Ganpule A A, Tanaka S, Ishikawa-Takata K, Tabata I: Interindividual variability in sleeping metabolic rate in Japanese subjects. *European Journal of Clinical Nutrition*, **61**, 1256–1261 (2007)
 - 12) 松本義信, 平川文江, 小野章史, 松枝秀二, 守田哲朗, 長尾光城, 長尾憲樹：身体活動に差がある女子大学生間の体組成および安静時代謝量. *体力科学*, **49**, 603–608 (2000)
 - 13) 田中素子, 辰田和佳子, 樋口 満：狭義特性の異なる女子スポーツ選手の安静時代謝量. *栄養学雑誌*, **5**, 289–297 (2010)
 - 14) Toledo F G S, Dube J J, Goodpaster B H, Stefanovic-Racic M, Coen P M, DeLany J P: Mitochondrial Respiration is Associated with Lower Energy Expenditure and Lower Aerobic Capacity in African American Women. *Obesity*, **26**, 903–909 (2018)
 - 15) 藤岡正子, 佐古隆之, 木目良太郎, 村瀬訓生, 長田卓也, 下村浩祐, 白石 聖, 勝村俊仁, 佐藤和人：筋持久力を向上させるトレーニングが安静時代謝量に及ぼす影響. *日本運動生理学雑誌*, **17**, 35–42 (2010)
 - 16) 杉山みち子：高齢者の安静時エネルギー代謝と栄養ケア. *日本医事新報*, **4141**, 1–15 (2003)
 - 17) Saito M: Brown adipose tissue as a therapeutic target for human obesity. *Obesity Research & Clinical Practice*, **7**, e432–e438 (2013)
 - 18) Yoneshiro T, Matsushita M, Nakae S, Kameya T, Sugie H, Tanaka S, Saito M: Brown adipose tissue is involved in the seasonal variation of cold-induced thermogenesis in humans. *American Journal of Physiology Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*, **310**, 999–1009 (2016)
 - 19) Tappy L: Thermic effect of food and sympathetic nervous system activity in humans. *Reproduction Nutrition Development*, **36**, 391–397 (1996)
 - 20) 河田照雄：エネルギー代謝・体熱産生と食品機能. *脂質栄養学*, **23**, 7–15 (2014)
 - 21) 平良拓也, 後藤健二, 高橋弘彦, 藤井久雄：ヒューマンカロリーメーターを用いた朝食, 昼食及び夕食の食後にけるエネルギー消費量の推移の比較検討. *栄養学雑誌*, **6**, 373–377 (2010)
 - 22) Diamond P, LeBlanc J J: The role of the autonomic nervous system in postprandial thermogenesis in dogs. *American Journal of Physiology*, **25**, E719–726 (1987)